УДК 621.436 DOI: 10.20998/0419-8719.2018.2.02

И.В. Парсаданов, А.П. Строков, И.В. Рыкова

ЭФФЕКТ ВНУТРИЦИЛИНДРОВОГО КАТАЛИЗА В ДИЗЕЛЯХ

На основе анализа особенностей внутрицилиндрового катализа при покрытии поверхности камеры сгорания каталитическим слоем, кинетики сгорания и проведенных экспериментальных исследований предпринята попытка раскрыть механизм положительных топливно-экологических эффектов в дизелях с непосредственным впрыскиванием топлива. Ускорение каталитических реакций обеспечивается адсорбцией реагентов на поверхности катализатора, воздействием на реакции силового поля катализатора и активных частиц. Усиление каталитического эффекта может быть достигнуто за счет свойствами катализатора, технологии нанесения покрытия, оптимальным сочетанием скорости движения заряда, угла рассеивания струи топлива и формы камеры сгорания. Характеристики скорости тепловыделения, определенные в результате обработки индикаторных диаграмм одноцилиндрового дизеля при работе с поршнем без покрытия и с поршнем, имеющим каталитическое покрытие поверхности камеры на основе Mn_xO_y, позволили подтвердить положительный эффект катализа и определить периоды сгорания, при которых этот эффект проявляется.

Введение. Одно из направлений дальнейшего совершенствования экономических и экологических показателей дизелей связано с реализацией возможностей внутрицилиндрового катализа. Внутрицилиндровый катализ предполагает увеличение скорости окислительных реакций при непосредственном воздействии на топливо или окислитель, а также нанесением каталитического слоя (покрытия) на поверхность металла-носителя камеры сгорания.

Воздействие на топливо обеспечивается совершенствованием технологии перегонки нефти, добавок всевозможных присадок или электромагнитной обработкой топлива [1-4]. Недостаток этого направления связан с дополнительным увеличением стоимости топлива, которая является основной составляющей затрат при эксплуатации двигателя.

Воздействие на окислитель осуществляется в основном озонированием воздуха, что позволяет увеличить скорость и полноту сгорания топлива [5,6]. Недостатком данного направления является необходимость применения относительно дорогостоящих озонирующих систем. К тому же озон, являясь сильнодействующим окислителем, при контакте со смазывающим маслом изменяет его свойства и способствует увеличению износа трущихся деталей двигателя.

К внутрицилиндровому катализу воздействием на окислитель можно отнести использование добавок воды к топливу или к воздуху, так как температура сжатия в цилиндре приводит к парообразованию до начала сгорания [7,8].

Наличие каталитического слоя на поверхности камеры сгорания способствует изменению условий взаимодействия топлива с окислителем у стенок камеры сгорания и, как следствие, ускорению реакций окисления в пристеночных зонах, а технология нанесения покрытия на поверхности камеры сгорания обеспечивает частичную теплоизоляцию, которая, в свою очередь, позволяет ускорить испарение топлива и сократить продолжительности сгорания [9-12].

В результате, каталитические процессы позволяют увеличить полноту сгорания топлива, преобразовывать продукты неполного сгорания топлива, токсичные вещества – оксиды углерода (CO), углеводороды (C_nH_m), твердые частицы (PM) в безвредные вещества. Сокращение продолжительности сгорания дает возможность снижать выбросы оксидов азота (NO_x).

Когда речь идет о снижении выбросов токсичных веществ с целью защиты окружающей среды, используют термин «экологический катализ» [13]. Для процессов экологического катализа характерно превращение образующихся при сгорании токсичных веществ в безвредные соединения.

Цель работы. На основе анализа особенностей внутрицилиндрового катализа при покрытии поверхности камеры сгорания каталитическим слоем, кинетики сгорания и проведенных экспериментальных исследований раскрыть механизм положительных топливно-экологических эффектов в дизелях с непосредственным впрыскиванием топлива.

Особенности внутрицилиндрового катализа при покрытии поверхности камеры сгорания каталитическим слоем в дизелях

Для современных дизелей характерны реакции окисления в паровых оболочках отдельных испаряющихся капель топлива и в отдельных очагах вокруг локальных скоплений топлива, как в объеме, так и у поверхности камеры сгорания при взаимодействии реагентов за счет диффузии или за счет конвекции.

При наличии каталитического слоя на поверхности рассматривают две стадии реакций – физическую и химическую [13].

Физическая стадия проходит при подводе топлива и окислителя из газового объема сначала к

© И.В. Парсаданов, А.П. Строков, И.В. Рыкова, 2018

поверхности покрытия с последующим их переносом в поры этого покрытия. Учитывая, что скорость подвода реагирующих веществ к поверхности катализатора а, следовательно, и скорость реакций, пропорциональны величине внешней поверхности и линейной скорости газового потока, в дизелях целесообразно стремиться к увеличению поверхности камеры сгорания и реализовывать такие процессы при больших скоростях газового потока с использованием мелкозернистых катализаторов, позволяющих уменьшить размеры пор. К физической стадии реакций относят также теплообмен между поверхностью катализатора и газовым потоком.

В химической стадии каталитической реакции рассматривают физическую адсорбцию реагирующих веществ с последующим превращением ее в химическую форму адсорбции. Затем – взаимодействие сорбированных реагентов с образованием промежуточных поверхностных комплексов, превращение этих комплексов в конечные продукты и десорбция их в газовый объем. Следует отметить, что химические превращения также необходимо рассматривать в их взаимосвязи с физическими процессами переноса вещества (массы) и теплоты.

Считается, что в гетерогенных каталитических реакциях, характерных для дизелей, существенную роль играет адсорбция реагентов на поверхности катализатора. Скорость реакции будет увеличиваться, если молекулы реагирующих веществ адсорбируются на мельчайших частицах катализатора, что способствует более равномерному распределению концентраций этих молекул. Т.е. адсорбция создает условия для лучшего взаимодействия молекул друг с другом на поверхности катализатора за счет ослабления связи в молекулах реагентов и образования поверхностных промежуточных соединений, которые затем распадаются, а продукты реакции десорбируются.

Возможно также, что на гетерогенные каталитические реакции большое влияние оказывает силовое поле поверхностных атомов катализатора, под влиянием которого электронная структура адсорбированных молекул изменяется, что способствует быстрому химическому взаимодействию между молекулами.

Предполагается, что увеличению скорости каталитических реакций способствуют активные центры, образующиеся на поверхности катализатора и излучающие активные частицы [13]. Эти центры и активные частицы в геометрическом и энергетическом отношении могут быть неравноценными. В тоже время однозначного объяснения природы образования активных центров и их конкретной роли в механизме каталитической реакции в настоящее время не имеется.

В современных дизелях с объемным и объемно-пленочным смесеобразованием высокое давление и значительная продолжительность впрыскивания топлива способствуют контакту топлива и его паров с боковыми стенками камеры сгорания. Если принять, что каталитический эффект может проявляться при взаимодействии паров топлива и промежуточных продуктов реакции горения с активными частицами, излучаемыми поверхностью поршня, то для усиления влияния каталитического эффекта в дизеле необходимо обеспечить оптимальное сочетание скорости движения вершины струи, угла рассеивания струи топлива и формы камеры сгорания [14].

Основные особенности кинетики сгорания топлива в дизелях с непосредственным впрыскиванием топлива.

Взаимодействие углеводородов топлива с окислителем в дизелях представляет собой совокупность разнородных химических процессов, решающую роль среди которых играют разветвленные цепные реакции. Скорость расходования исходного вещества в этих реакциях для однородной газообразной системы [15]:

$$w = -\,d\,[A]\,/d\tau = [A]_0\,dx/d\tau = k\,[A]\,/n_c,$$

где, $[A]_0$ и $[A]$ – начальная и текущая концентрации исходного вещества; x – доля выгоревшего топлива; k – константа скорости реакции; n_c – концентрация активных центров (атомов и свободных радикалов).

Концентрация активных центров при взаимодействии топлива и окислителя определяется скоростью зарождения, разветвления и обрыва цепей (на стенке камеры сгорания). При высоком давлении среды в условиях дизеля обрывом цепей пренебрегают.

Процесс горения в дизелях характеризуется смесеобразованием и непосредственным сгоранием топлива. Кинетика сгорания рассматривает три основных периода сгорания в дизелях.

Первый период горения (период задержки воспламенения) отсчитывается от момента начала подачи топлива в цилиндр двигателя до момента начала цепочно-теплового взрыва. В этот период происходит развитие, прогрев и испарение струй топлива в объеме камеры сгорания, образование топливно-воздушной смеси и активных центров, совершаются предпламенные химические превращения без непосредственного горения.

Основным показателем данного периода принято считать его длительность, τ_i, которая зависит как от физических, так и от химических факторов и

оказывает существенное влияние на динамику и скорость тепловыделения в начальной стадии горения. Физические факторы характеризуются испарением и перемешиванием топлива с окислителем, составом смеси, конвективными потоками в камере сгорания. Химические факторы связаны, главным образом, с химическими свойствами топлива, т.е. энергией связи между молекулами.

В дизелях τ_i преимущественно зависит от физических факторов, которые определяют скорость взаимной диффузии топлива и окислителя. В упрощенном виде, но с достаточной точностью, зависимость периода воспламенения от начальных давлений и температур определяется выражением

$$\tau_i = A\, p_0^{-(n-1)}\, e^{(EA/RT_н)}.$$

В результате обработки многочисленных экспериментальных данных различных двигателей А.И. Толстовым была предложена эмпирическая зависимость для определения длительности задержки воспламенения в виде [16]:

$$\tau_i = 3{,}8\cdot 10^{-6}\,(1 - 1{,}6\cdot 10^{-4}\, n)\sqrt{T_н / P_н}\;\; e^{(EA/8{,}314T_н)},$$

где n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин $^{-1}$; $P_н$, $T_н$ – давление (МПа) и температура (К) газового заряда в момент начала впрыскивания топлива; е – основание натурального логарифма; $E_А$ – условная энергия активации предпламенных реакций.

Известно, что энергия активации предпламенных реакций есть минимальная кинетическая энергия, которой должна обладать исходная *система* сверх своей начальной потенциальной энергии, чтобы в ней могло произойти рассматриваемое химическое превращение, т.е. является потенциальным барьером, который должна преодолеть *система* в ходе химической реакции. Из приведенных зависимостей следует, что при неизменном скоростном режиме работы двигателя и характеристике движения газового заряда на продолжительность периода задержки воспламенения может влиять только условная энергия активации предпламенных реакций.

Химические процессы в камере сгорания дизелей протекают в топливно-окислительной системе, функционирующей при высоких температурах. Условная энергия активации в данном случае и, следовательно, скорость реакций определяется в основном химическими свойствами топлива и составом смеси. Продолжительность первого периода сгорания в современных дизелях соответствует развитию струи 0,3…0,6 от максимальной ее длины, в зависимости от цикловой подачи топлива. За этот период горения каталитическое воздействие поверхности поршня на процесс маловероятно и не может быть связано с воздействием каталитической поверхности и изменением температуры стенок камеры сгорания [16].

Второй период горения (сгорание топлива при продолжающемся процессе топливоподачи) отсчитывается от момента начала цепочно-теплового взрыва до момента окончания подачи топлива. В этот период происходит вспышка паров топлива, образовавшихся в начальный период, резкий рост скорости тепловыделения, быстрый прогрев и активация зоны вокруг оболочки струй топлива. После достижения максимума вследствие выгорания топлива, испарившегося в начальный период, скорость тепловыделения начинает падать, а затем вновь возрастает из-за резкого повышения температуры и мгновенного испарения значительной части капель топлива продолжающих движение струй.

Испарение капель топлива интенсивно происходит как в переднем фронте струи, так и в ее оболочке. По закону Срезневского скорость испарения характеризуется уменьшением диаметра испаряющейся капли:

$$d_\tau^2 = d_0^2 - K_{\tau v},$$

где d_τ, d_0 – начальное и текущее значения диаметра капли; K – константа испарения; τv – время от начала испарения капли до текущего момента времени.

На скорость испарения капель топлива, при повышении температуры и давления в результате начавшего горения, оказывают влияние молекулярная и турбулентная диффузии, теплопроводность и радиационный теплообмен. Молекулярная диффузия и теплопроводность увеличивают скорость испарения, а турбулентная диффузия и радиационный теплообмен – уменьшают ее. В результате, константа испарения на начальном участке горения изменяется мало и каталитическое покрытие поршня не может оказать на нее заметного влияния.

Третий период развитого диффузионного горения и догорания продуктов неполного сгорания топлива (иногда этот период разделяют на два периода) отсчитывается от момента окончания подачи топлива до момента окончания горения. Скорость горения в этот период зависит в основном от коэффициента избытка воздуха, степени расслоения заряда и от молекулярной и турбулентной диффузий, т.е. от особенностей распределения топлива и воздушного заряда с учетом формы камеры сгорания. Но в любом случае интенсивность горения в этот период заметно падает. Это связано с

существенным уменьшением количества кислорода и усложнением условий его подвода в зоны горения. Горение в этот период неполное, что приводит к увеличению объемной доли оксида углерода (CO) и углеводородов (C_nH_m), продуктов неполного сгорания.

Автоускорение реакций в данном случае зависит от скорости поступления и расходования кислорода в локальных зонах, богатых топливом и продуктами неполного сгорания. Такими зонами, в первую очередь, является скопление топлива у поверхности камеры сгорания. Естественно, можно предположить, что именно в этот период каталитическое покрытие камеры сгорания, химическая адсорбция и дополнительные активные центры будут способствовать увеличению скорости реакций и полноте сгорания топлива.

Так как в переднем фронте струи скапливается значительная масса топлива, скорость его испарения будет существенно зависеть от характера взаимодействия струи со стенкой и газодинамики заряда в пристеночной зоне. При взаимодействии струи со стенкой поршня образуется двухфазный пристеночный слой, в котором происходит временное снижение скорости испарения топлива. На скорость испарения топлива в этом случае определенное влияние будут оказывать продолжительность контакта фронта струи со стенкой и температура стенок камеры сгорания в поршне. Степень снижения скорости испарения распыленного топлива от взаимодействия его со стенками камеры сгорания можно оценить по степени уменьшения скорости сгорания в этот период [17].

Анализ характеристик скорости тепловыделения

Горение двухфазной смеси в дизелях представляет собой сложный комплекс физико-химических процессов, определяющих скорость, полноту и своевременность сгорания. Данные процессы характеризуются испарением (фазовым превращением) топлива, тепло- и массопереносом, динамикой изменения полей концентраций и температуры в топливном факеле и цилиндре. Разделить показатели процессов испарения, диффузии и теплопередачи, необходимые для описания закономерностей их изменения и идентификации, практически невозможно, тем более при наличии катализатора. Но если определить роль физических процессов лишь как подготовку горючей смеси к смесеобразованию и рассматривать процесс горения только как химическое явление, то возможно представление процесса горения распыленного топлива через скорость тепловыделения.

Скорость тепловыделения достаточно надежно определяется при индицировании двигателя, и если величину скорости тепловыделения отнести к располагаемой теплоте сгорания, то в результате получим массовую скорость сгорания топлива, или с точки зрения химической кинетики – скорость преобразования исходного вещества в продукты реакции. Использование общих законов химической кинетики с учетом физико-химических особенностей сгорания распыленного топлива в дизелях позволяет определить основные влияющие факторы этого процесса и зависимость показателей сгорания от этих факторов. Отклонения в закономерностях протекания реального процесса от теоретических соотношений целесообразно учесть эмпирическими коэффициентами, значения которых определяется идентификацией полученной модели процесса сгорания по экспериментальным характеристикам тепловыделения.

Рассмотрим характеристики скорости тепловыделения при работе дизеля с поршнем без покрытия и с поршнем, имеющим каталитическое покрытие поверхности камеры сгорания (рис. 1). Характеристики скорости тепловыделения получены обработкой индикаторных диаграмм, снятых при исследовании одноцилиндрового дизеля. Дизель последовательно был укомплектован исходным вариантом поршня из алюминиевого сплава АЛ 25 и опытным поршнем из алюминиевого сплава АЛ 25 с каталитическим покрытием камеры сгорания на основе Mn_xO_y. Скоростной режим, цикловая подача, регулировочные параметры двигателя, показатели окружающей среды при исследованиях выдерживались строго идентичные. Необходимо отметить, что индикаторные диаграммы были сняты при исследовании именно с покрытием на основе оксидов марганца, хотя эффект каталитического покрытия на основе оксидов кобальта был выше [18].

В современных форсированных дизелях с объемным и объемно-пленочным смесеобразованием процесс смесеобразования определяется закономерностями развития струй топлива, распределением топлива в объеме камеры сгорания, дисперсностью распыливания топлива, взаимодействием топливных струй с воздушным зарядом и стенками камеры сгорания. В свою очередь, на различных стадиях процесса горения в различных зонах камеры сгорания скорость сгорания топлива лимитируется скоростью испарения, диффузии или химического реагирования. Степень влияния этих процессов определяют для каждого из последовательных периодов сгорания через концентрацию в зоне горения паров топлива, кислорода или активных центров.

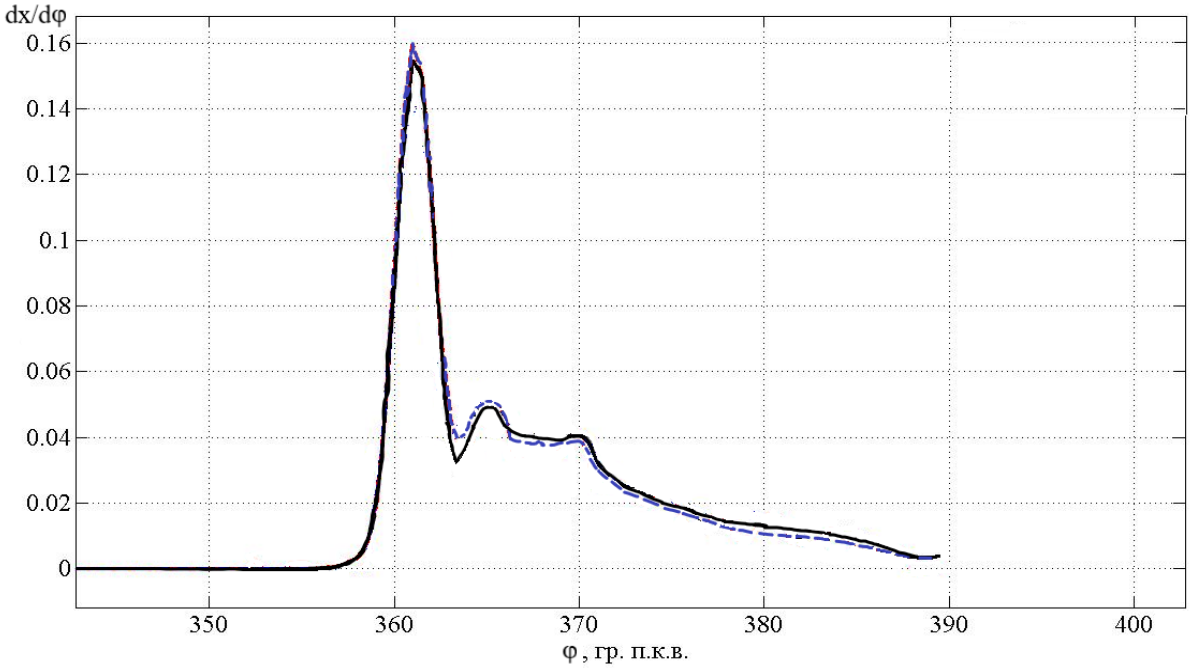

Рис. 1. Характеристики скорости тепловыделения дизеля с поршнем без покрытия и с поршнем, имеющим каталитическое покрытие поверхности камеры сгорания на основе Mn_xO_y:
——— – поршень из алюминиевого сплава АЛ 25 без покрытия;
- - - - - – поршень из алюминиевого сплава АЛ 25 с каталитическим покрытием камеры сгорания

На продолжительность первого периода, определяемого условиями начального развития струй и их взаимодействием с воздушным зарядом при прочих равных условиях, покрытие поверхности камеры сгорания не оказывает влияния (рис. 1).

Высокое давление и значительная продолжительность впрыскивания топлива приводит к контакту топливных струй с боковыми стенками камеры сгорания. Так как в переднем фронте струи скапливается значительная масса топлива, скорость его испарения будет существенно зависеть от характера взаимодействия струи со стенкой и газодинамики заряда в пристеночной зоне.

При взаимодействии струи со стенкой поршня образуется двухфазный пристеночный слой. На скорость испарения топлива в этом случае определенное влияние будет оказывать температура стенок поршня.

Для условий смесеобразования исследуемого дизеля характерна значительная неравномерность длин струй от распыливающих отверстий распылителя до стенки камеры сгорания, что предопределяет контакт коротких струй со стенкой в более ранней стадии второго периода сгорания.

Именно этим можно объяснить незначительное увеличение скорости тепловыделения в начальной стадии второго периода и максимального значения скорости тепловыделения. После достижения максимума вследствие выгорания топлива, испарившегося в начальный период, скорость тепловыделения начинает падать. Причем, как видно из характеристик, падение скорости тепловыделения с поршнем, имеющим каталитическое покрытие, менее значительно с последующим ее возрастанием. По-видимому, именно на эту фазу сгорания (окончание второго периода) оказывают наиболее существенное влияние активные центры, образующиеся на каталитическом покрытии, увеличивая скорости реакций.

Участие в реакции дополнительных активных центров и ускорение испарения топлива у стенок камеры сгорания, по данным полученных при экспериментах, позволяет снизить расход топлива и токсичные выбросы с отработавшими газами. Следует отметить, что более полное сгорания топлива во втором периоде сгорания позволяет сократить третий период диффузионного сгорания наименее эффективного с точки зрения получения полезной работы.

Выводы

Согласно современной теории механизм внутрицилиндрового катализа при покрытии поверхности камеры сгорания каталитическим слоем в дизелях связан с адсорбцией реагентов на поверхности катализатора, воздействием на реакции силового поля катализатора и активных частиц, способствующих увеличению скорости реакции. Усиление

каталитического эффекта обеспечивается, свойствами катализатора, технологией нанесения покрытия, а также оптимальным сочетанием скорости движения заряда, угла рассеивания струи топлива и формы камеры сгорания.

Покрытие поверхности камеры сгорания каталитическим слоем в дизелях не оказывает заметного влияния на протекание каталитических реакций в период задержки самовоспламенения и в начальный период горения.

В период сгорания топлива при продолжающемся процессе топливоподачи и сразу же после ее окончания, когда скорость реакций существенно зависит от характера взаимодействия струи со стенкой и газодинамики заряда, каталитическое покрытие камеры сгорания способствует увеличению скорости реакций и полноте сгорания топлива за счет химической адсорбции и дополнительных активных центров.

На скорость испарения топлива в этом случае определенное влияние оказывает продолжительность контакта со стенкой фронта струи и температура стенок поршня.

Описанный эффект подтверждается характеристикой скорости тепловыделения, определенной обработкой индикаторной диаграммы, которая была получена в результате исследования одноцилиндрового дизеля при работе с поршнем без покрытия и с поршнем, имеющим каталитическое покрытие поверхности камеры на основе Mn_xO_y.

Список литературы:

1. Ma Y. The effect of a homogeneous combustion catalyst on exhaust emissions from a single cylinder diesel engine / Y. Ma, M. Zhu, D. Zhang // Applied Energy. – 2013. – Vol. 102. – pp. 556-562. 2. Al Ali Y. Potential for improving vehicle fuel efficiency and reducing the environmental pollution via fuel ionization / Al Ali Y., Hrairi M., Al Kattan, I. // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2012. – Vol. 9, Issue 3. – pp. 495–502. DOI: 10.1007/s13762-012-0053-7. 3. Patel P.M. Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine / P.M. Patel, G.P.Rathod, T.M. Patel // IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). – 2014. -Vol. 04, Issue 05. – pp. 28-34. 4. Звонов В.А. Влияние на рабочий процесс ДВС активирования топлива внешними физическими воздействиями / В.А. Звонов, Н.А. Макаров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №2. – С. 112-121. 5. Ноженко Е.С. Экологизация транспорта путем озонирования топлива / Е.С. Ноженко, В.И. Могила, Н.И. Горбунов // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – 2012. – Вип. 37.– С. 251-255. 6. Пилатов А.Ю. Теоретическое обоснование озонирования свежего заряда дизельного двигателя: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.04.02- Тепловые двигатели / Пилатов Александр Юрьевич. – Минск, 2011. – 20 с. 7. Christopher J. Chadwell, Effect of Diesel and Water Co-injection with Real-Time Control on Diesel Engine Performance and Emissions / Christopher J. Chadwell, Philip J. G. Dingle. // SAE 2008-01-1190. – 2008. – 12 p. 8. Maiboom A. NOx and PM emissions reduction on an automotive HSDI Diesel engine with water-in-diesel emulsion and EGR: An experimental study / A. Maiboom, X. Tauzia // Fuel. – 2011. – Vol.90, Issue 11. – pp. 3179-3192. 9. Парсаданов І.В. Підвищення екологічності дизелів шляхом внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин відпрацьованих газів / І.В. Парсаданов, М.Д. Сахненко, В.О. Хижняк, Г.В. Каракуркчі // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №2. –С.63-67. 10. Vijaya Kumar K.R The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance of PZT Loaded Cyanate Modified Epoxy Coated Combustion Chamber / K.R. Vijaya Kumar, V. Sundareswaran // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. – 2011. – Vol. 5. – N. 5. – P. 403 – 406. 11. Sathiyagnanam A.P. Effect of Thermal-Barrier Coating plus Fuel Additive for Reducing Emission from Di Diesel Engine / A.P. Sathiyagnanam, C.G. Saravanan and S. Dhandapani // Proceedings of the World Congress on Engineering. – 2010. – June 30 - July 2, 2010, London, U.K. – 2010. 12. Марченко А.П. Особливості температурного стану стінки камери згоряння поршня з шаром теплоізоляції в зоні наявності паливної плівки / А.П. Марченко, В.В. Пильов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №1.– С. 3-7. 13. Власенко В.М. Экологический катализ / В.М. Власенко . – К.: Наукова думка, 2010 . – 237 с. 14. Парсаданов І.В. Обґрунтування вибору форми камери згоряння при застосуванні каталітичного покриття на поверхні поршня / І.В. Парсаданов, В.О. Хижняк, І.В. Рикова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2017. – №2. – С.18-21. 15. Семенов Н.Н. Развитие теории цепных реакций и теплового воспламенения / Н.Н. Семенов. – М., 1969. – 94 с. 16. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н.Ф. Разлейцев. – Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1980. – 169 с. 17. Марченко А.П. Удосконалення математичної моделі випаровування паливної плівки зі стінки камери згоряння дизеля/ А.П. Марченко, В.В. Пильов, І.І. Сукачев //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №42. 18. Парсаданов І.В. Дослідження дизеля з каталітичним покриттям поверхні камери згоряння / І.В. Парсаданов, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.М. Карягін, В.О. Хижняк, Д.С. Андрощук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – №2. – С.69-72.

Bibliography (transliterated):

1. Ma, Y., Zhu, M., Zhang, D., (2013) "The effect of a homogeneous combustion catalyst on exhaust emissions from a single cylinder diesel engine", Applied Energy, Vol. 102, pp. 556-562. 2. Al Ali, Y., Hrairi, M., Al Kattan, I. (2012), "Potential for improving vehicle fuel efficiency and reducing the environmental pollution via fuel ionization", Int. J. Environ. Sci. Technol, Vol. 9, Issue 3, pp. 495–502. DOI: 10.1007/s13762-012-0053-7. 3. Patel, P.M., Rathod, G.P., Patel, T.M., (2014) "Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine", IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Vol. 04, Issue 05, pp. 28-34. 4. Zvonov, V.A., Makarov, N.A., (2008), Influence on the process of internal combustion engine activation of fuel by external physical effects [«Vlijanie na rabochij process DVS aktivirovanija topliva vneshnimi fizicheski-mi vozdejstvijami»], Dvigateli vnutrennego sgoranija, №2, p.p. 112-121. 5. Nozhenko, E.S., Grave, V.I., Gorbunov, N.I., Nozhenko, E.S., (2012), «Ecologization of transport by fuel ozonation», [«Jekologizacija transporta putem ozonirovanija

topliva»], Naukovi notatki: mizhvuzivs'kij zbirnik, №. 37, P. 251-255. 6. Pilatov, A.Ju., (2011), Theoretical justification of ozonization of a fresh charge of a diesel engine [Teoreticheskoe obosnovanie ozonirovanija svezhego zarjada dizel'nogo dvigatelja: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk], Minsk,. 20 p. 7. Christopher J. Chadwell, Philip J. G. Dingle, (2008) «Effect of Diesel and Water Co-injection with Real-Time Control on Diesel Engine Performance and Emissions», SAE 2008-01-1190, 12 p. DOI: 10.4271/2008-01-1190. 8. Maiboom, A., Tauzia, X., (2011), "NOx and PM emissions reduction on an automotive HSDI Diesel engine with water-in-diesel emulsion and EGR: An experimental study", Fuel, Vol.90, Issue 11, pp. 3179-3192. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.06.014. 9. Parsadanov, I.V., Sahnenko, M.D., Hizhnjak, V.O., Karakurkchi, G.V., (2016), «Increasing the ecology of diesels by intracollision neutralization of toxic substances of exhaust gases», [«Pidvishhennja ekologichnosti dizeliv shljahom vnutrishn'ocilindrovoї nejtralizacії toksichnih rechovin vidprac'ovanih gaziv»], Dvigateli vnutrennego sgoranija, №2, p.p.63-67. 10. K.R. Vijaya Kumar, V. Sundareswaran, (2011), "The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance of PZT Loaded Cyanate Modified Epoxy Coated Combustion Chamber", Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Vol. 5, N. 5, p.p. 403 – 406. 11. Sathiyagnanam, A.P., Saravanan, C.G. and Dhandapani, S., (2010), Effect of Thermal-Barrier Coating plus Fuel Additive for Reducing Emission from Di Diesel Engine, Proceedings of the World Congress on Engineering, June 30 - July 2, 2010, London, U.K. 12. Marchenko, A.P., (2014), «Features of the temperature state of the wall of the combustion chamber of the piston with a layer of thermal insulation in the zone of the presence of a fuel film» [«Osoblyvosti temperaturnoho stanu stinky kamery zghoriannia porshnia z sharom teploizoliatsii v zoni naiavnosti palyvnoi plivky»], Dvyhately vnutrenneho shoranyia, №1, p.p. 3-7. 13. Vlasenko, V.M. (2010), Ecological catalysis [Jekologicheskij kataliz], K.: Naukova dumka, 237 pp. 14. Parsadanov, I.V., Khyzhniak, V.O., Rykova, I.V., (2017), «Substantiation of the choice of the shape of the combustion chamber with the application of a catalytic coating on the surface of the piston», [«Obgruntuvannia vyboru formy kamery zghoriannia pry zastosuvanni katalitych-noho pokryttia na poverkhni porshnia»], Dvyhately vnutrenneho shoranyia, №2. p.p.18-21. 15. Semenov, N.N, (1969), Development of the theory of chain reactions and thermal ignition, [Razvitie teorii cepnyh reakcij i teplovogo vosplamenenija], M., 94 p. 16. Ralleytsev, N.F., (1980), Modeling and optimization of combustion process in diesel engines [Modelirovanie i optimizacija processa sgoranija v dizeljah], Higher school. Publishing house at Kharkov. Un-that, 169 p. 17/ Marchenko, A.P., Pylov, V.V., Sukachev, I.I., (2011), "Improvement of the mathematical model of evaporation of a fuel film from the wall of the combustion chamber of a diesel engine", ["Udoskonalennia matematychnoi modeli vyparovuvannia palyvnoi plivky zi stinky kamery zghoriannia dyzelia"], Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Collection of scientific works. Thematic issue: Mathematical modeling in technology and technologies. - Kharkiv: NTU "KhPI", №42. 18. Parsadanov ,I.V., Sakhnenko, M.D., Ved, M.V., Kariahin, I.M., Khyzhniak, V.O., Androshchuk, D.S., (2015), «Research of diesel engine with catalytic coating of combustion chamber surface», [«Doslidzhennia dyzelia z katalitychnym pokryttiam poverkhni kamery zghoriannia»], Dvyhately vnutrenneho shoranyia, №2, p.p. 69-72.

Поступила в редакцию 04.06.02018 г.

Парсаданов Ігор Володимирович – докт. техн. наук, проф.**,** гол. наук. співр. кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail; parsadanov@kpi.kharkov.ua, http://orcid.org/0000-0003-0587-4033.

Строков Олександр Петрович – докт. техн. наук, проф.**,** проф. кафедри автомобільного та транспортних технологій Класичного приватного університету, Запоріжжя**,** Україна**.**

Рикова Інна Віталіївна – канд. техн. наук, с.н.с., старш. наук співр. кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, http://orcid.org/0000-0002-5348-8199.

ЕФЕКТ ВНУТРІШНЬОЦИЛІНДРОВОГО КАТАЛІЗУ В ДИЗЕЛІ

І.В. Парсаданов, О.П. Строков, І.В. Рикова

На основі аналізу особливостей внутрішньоциліндрового каталізу при покритті поверхні камери згоряння каталітичним шаром, кінетики згоряння і проведених експериментальних досліджень зроблена спроба розкрити механізм позитивних паливно-екологічних ефектів в дизелях з безпосереднім вприскуванням палива. Прискорення каталітичних реакцій забезпечується адсорбцією реагентів на поверхні каталізатора, впливом на реакції силового поля каталізатора і активних частинок. Посилення каталітичного ефекту може бути досягнуто за рахунок властивостей каталізатора, технології нанесення покриття, оптимального поєднання швидкості руху заряду, кута розсіювання струменя палива і форми камери згоряння. Характеристики швидкості тепловиділення, визначені в результаті обробки індикаторних діаграм одноциліндрового дизеля при роботі з поршнем без покриття та з поршнем, що має каталітичне покриття поверхні камери на основі Mn_xO_y, дозволили підтвердити позитивний ефект каталізу і визначити періоди згоряння, при яких цей ефект проявляється.

EFFECT OF IN-CYLINDER CATALYSIS IN DIESEL ENGINES

I.V. Parsadanov, A.P. Strokov, I.V. Rykova

On the basis of analysis of the features of intra-cylinder catalysis during the coating of the combustion chamber surface by the catalytic layer, of combustion kinetics and experimental studies, an attempt was made to disclose the mechanism of positive fuel-ecological effects in diesel engines with direct injection of fuel. Acceleration of catalytic reactions is ensured by adsorption of reagents on the surface of the catalyst, action on the force field of the catalyst and on active particles. Enhancement of the catalytic effect can be achieved by changing the properties of the catalyst, coating technology, the optimal combination of the velocity of the charge, the angle of dispersion of the fuel jet and the shape of the combustion chamber. The characteristics of the heat release rate determined as a result of processing the indicator diagrams of a single-cylinder diesel engine when working with a uncoated piston and with a piston having a catalytic coating on the surface of a Mn_xO_y-based chamber allowed to confirm the positive catalysis effect and determine the combustion periods at which this effect manifests itself.